

소프트 님 캘린더의 님 압력 프로파일 평가 및 신문용지의 소프트 님 캘린더링

이 사 용¹⁾ · 이 학 래¹⁾ · 김 창 희²⁾
서울대학교 임산공학과¹⁾ · 광성고무물주식회사²⁾

1. 서 론

넙폭이 넓고 넙 체류시간(NRT)이 길며 롤 내구성이 우수하여 초지 속도와 같은 수준으로 온 머신 작업이 가능할 뿐만 아니라 수퍼캘린더링에 준하는 캘린더링 품질을 얻을 수 있는 소프트 님 캘린더는 1980년대 후반부터 개발되었으며 최근에는 유럽과 북미 지역에서 고급 도공지와 신문용지에 널리 적용되고 있다. 국내에서도 현재 도공지와 신문용지의 캘린더링에 이용되고 있다. 국내에서 소프트 님 캘린더의 적용이 가장 널리 행해지고 있는 신문용지의 경우 제지 원료면에서 볼 때 외국과 달리 고지의 함량이 매우 높기 때문에 외국의 소프트 님 캘린더 적용 기술을 단순히 도입하여 사용하는 것은 부적절하다. 이는 고지의 함량이 높을수록 캘린더링에 따른 두께 감소가 크게 발생하기 때문이다. 따라서 우리의 원료 구성에 알맞은 소프트 님 캘린더링 기술의 확립과 소프트 님 캘린더 롤 피복기술의 확립이 절실히 요청되고 있다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 소프트 님 캘린더용 연질롤(90 Shore D)¹⁾의 님 기하구조를 실제로 정확히 평가할 수 있는 방법을 확립하고 님압, 넙폭, 가열 롤의 표면온도, 운전 속도, 유입지의 함수율 등의 캘린더링 인자 변화에 따른 신문용지의 물성변화를 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국내 신문용지업체에서 생산된 평량 46 g/m²과 54 g/m²의 캘린더링이 되지 않은 신문용지를 사용하였으며, 일반적인 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of uncalendered newsprint

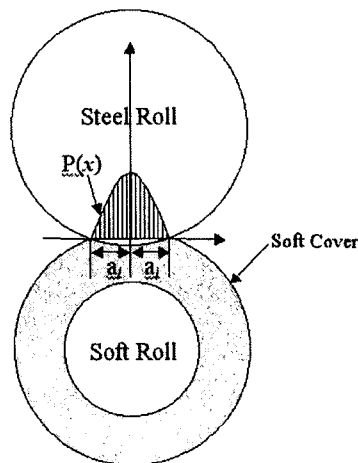
Thickness (μm)	Gloss (%)	PPS (μm)	Tensile Strength (kN/m)	Tear Strength (gr)	Opacity (%)
95	5.10	3.57	2.14	70	86.15
113	4.60	3.80	2.86	86	88.30

2.2 캘린더

소프트 닙 캘린더를 구성하는 상부의 금속 롤은 최고온도 200℃까지 가열할 수 있는 것이었으며, 최고속도는 64 m/min였다. 중간 롤은 경도 90 Shore D의 연질롤을 사용하였다. 금속 롤의 지름과 길이는 각각 180 mm, 255 mm였으며, 연질 롤의 지름과 길이는 각각 220 mm, 250 mm였다.

2.3 닙의 기하구조 해석

닙폭 측정은 Fuji사의 프리스케일 필름(Prescale Film)중 초저압용(LLW)을 사용하여 행하였다. 닙압의 측정을 위해서 중압용(MW), 고압용(HS) 프리스케일 필름을 이용하였으며, Fig. 1에 도시된 닙 내의 최대압력: P_{max} 를 측정하였다. 또 닙내의 압력 $P(x)$ 는 식[1]2)에 의해 계산하였다. 닙압측정 시에는 상부롤과 하부를 사이에 프리스케일 필름을 놓고 5초간 가압 후 1.5 m/min으로 연질롤 원주의 1/4을 회전시켰다. 이를 Fuji사에서 제공하는 전용농도계(FPD301)와 압력환산기(FPD303)을 사용하여 필름에 발색된 붉은색의 농도를 롤의 축방향으로 5 mm 간격으로 MPa 단위의 면압으로 환산하였다. 이 환산된 값(P_{max})과 측정된 닙폭의 반($a_i = W_i / 2$)을 식 [2]2)에 대입하여 압력을 측정된 위치의 선압(F_i)을 계산하였다. 이렇게 계산된 측정위치의 선압 F_i 를 롤의 종축방향으로 구분구적법을 써서 닙 전체에 가해진 힘 F_{total} (식[3])을 구하고 이를 다시 닙의 길이(L)로 나누어 닙 전체에 걸린 선압 F (식[5])를 계산하였다. F_1 은 첫번째 측정위치에서 계산된 선압이며 F_n 은 마지막 측정위치에서 계산된 선압이다.



$$P(x) = P_{max} \left(1 - \frac{x^2}{a_i^2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{x^2}{a_i^2}\right) dx \text{-----[1]}$$

$$F_i = 2P_{max} \int_0^{a_i} \left(1 - \frac{x^2}{a_i^2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{x^2}{a_i^2}\right) dx \text{-----[2]}$$

$$F_{total} = \sum_{i=1}^n 0.5 \times F_i - 0.25 \times (F_1 + F_n) \text{-----[3]}$$

$$L = 0.5 \times (n - 1) \text{-----[4]}$$

$$F = \frac{F_{total}}{L} \text{-----[5]}$$

Fig. 1. Geometry of a soft calender nip.

2.4 캘린더링 조건

본 실험의 캘린더링 조건을 요약하여 Table 2 에 기술하였다.

Table 2. Calendering conditions

Ingoing sheet temperature (°C)	23	
Surface temperature of heating roll (°C)	80, 120, 160	
Nip residence time (ms)	4, 7, 10	
Cylinder Pressure (kgf/cm ²)	60, 100, 140	
Ingoing Moisture (%)	Newsprint	9, 12
	Coated paper	5.5, 6.5

2.5 물성 측정

Table 2의 조건에 따라 캘린더링을 실시한 후에 TAPPI Standard T 402 om-82에 의거 시편을 조습처리하고 TAPPI Standard 시험법에 의거 벌크(T220 om-88), 광택도(T653 pm-90), 불투명도(T425 om-91), PPS를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 nip 압력프로파일 평가

3.1.1 선압측정

파일럿 캘린더의 실린더 압력을 60 kgf/cm²에서 160 kgf/cm²까지 20 kgf/cm²의 간격으로 변화시켰다. 각 압력에서 초저압용 프리스케일 필름으로 nip 프로파일 이미지를 찍고 이를 70배 확대하여 5 mm의 간격으로 너푼(W_i)을 측정하였다(Fig. 2). 너푼 측정과 같은 실린더 압력조건에서 얻어진 nip내 최고압력 P_{max}는 Fig. 3에 나타내었다.

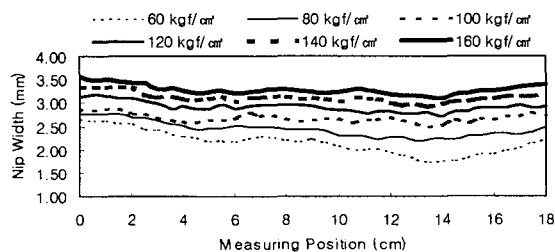


Fig. 2. Nip widths profiles.

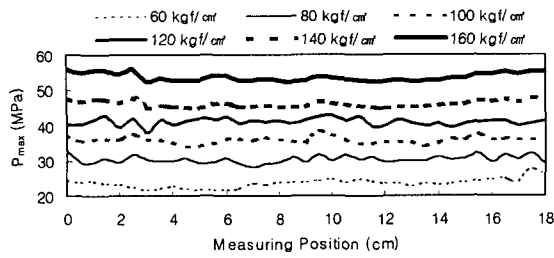


Fig. 3. P_{max} profiles.

이렇게 측정된 P_{max} 와 W_i 으로부터 전술한 방법대로 F_i , F_{total} , F 를 구하였다(Fig. 4). 초저압용 프리스케일 필름을 사용하여 80, 120, 160°C에서의 닙폭을 실온에서의 닙폭측정과 같은 방법으로 측정한 결과 가열 롤의 표면온도와 선압의 증가에 따라 닙폭이 증가하였다(Fig. 5).

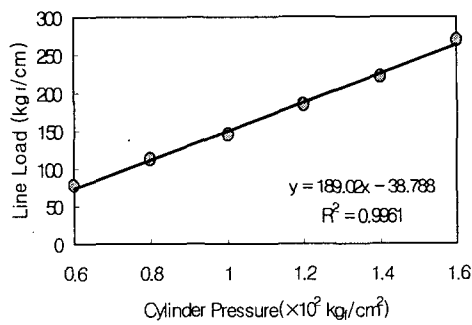


Fig. 4. Line load in soft nip cylinder pressure.

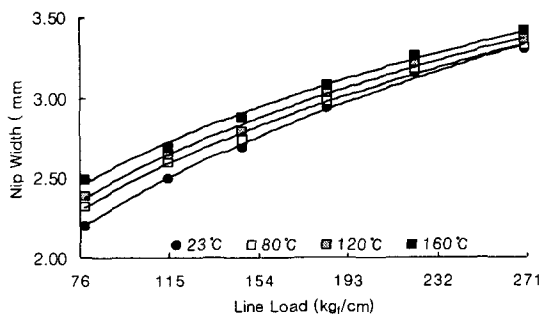


Fig. 5. Effects of line load & temperature variation on nip width.

3.1.2 닙폭과 선압을 이용한 닙내 최고압력의 계산

3.1.1에서 측정된 선압 F 와 각 온도별 닙폭 a_i 를 식[2]에 적용하여 닙폭 a_i 를 측정한 위치에서의 닙내 최고압력 P_{max} 를 구하였다(Fig. 6).

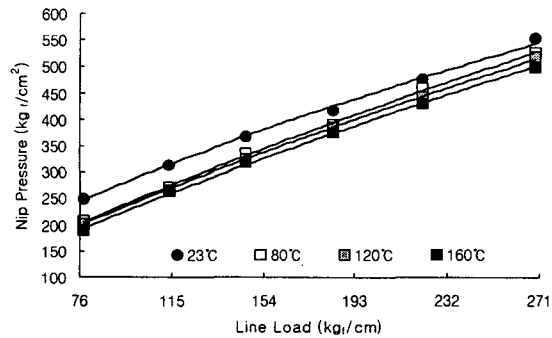


Fig. 6. Effect of line load & temperature variation on nip pressure.

Hertz의 방정식³⁾에 의하면 닙내 최고압력 P_{max} 는 닙 내에서의 탄성모듈러스와 선압에 비례한다. 즉 가열 롤의 표면온도가 증가하면 탄성 모듈러스가 감소하여 P_{max} 가 감소하게 되고 선압이 증가하면 P_{max} 는 증가하게 된다. 캘린더링 조건을 설정하는데 있어 닙폭과 닙압의 측정은 상당히 중요하다. 정확한 닙폭과 닙압의 측정이 선행되어야만 소프트 닙 내의 압력분포를 이해할 수 있다.

3.2 신문용지 캘린더링

3.2.1 벌크의 변화

캘린더링 시 압력의 증가에 따라 벌크는 감소되었다. 특히 선압 146 kg/cm까지 급격한 감소를 보였으며 그 이후에서는 완만한 감소를 보였다. 이는 선압 146 kg/cm까지 캘린더링에 의한 종이의 압축변형이 많이 일어나는 것을 의미한다. 따라서 신문용지의 캘린더링 시 벌크의 감소를 작게하기 위해서 146 kg/cm 이하의 선압을 주는 것이 적절한 것으로 보인다(Fig. 7).

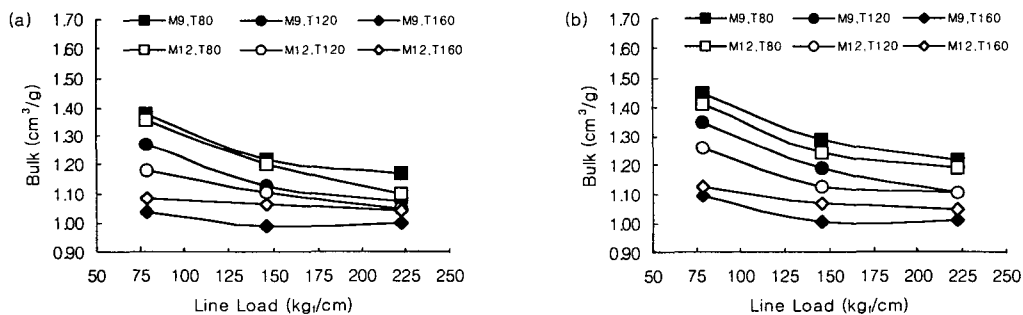


Fig. 7. Effect of line load on bulk of newsprint [(a)Basis weight 46 g/m², Nip residence time 7 ms, (b)Basis weight 54 g/m², Nip residence time 7 ms, M : Moisture content(%), T : Heated roll surface temperature (°C)].

3.2.2 불투명도의 변화

가열 롤의 표면온도를 80℃로 하였을 때 선압의 증가에도 불투명도는 크게 감소되지 않았다 (Fig. 8). 특히 닢 체류시간을 10 ms로 길게하여도 불투명도가 크게 저하되지 않았다. 선압 증가에 따른 불투명도 저하는 가열롤의 표면온도와 닢 체류시간이 증가함에 따라 서서히 증가되었다. 이는 가열롤의 표면에서 지필로의 열전달에 의해 섬유가 열변형을 쉽게 일으킬 수 있는 상태가 되어 캘린더링 시 압력에 의해 지필이 고밀화되었기 때문이다^{4,5)}. 따라서 국산 신문용지의 캘린더링 시 불투명도의 저하를 막기 위해서 가열롤 표면온도는 120℃ 이하로 하고 닢 체류시간은 짧게 하는 것이 유리하다고 판단된다.

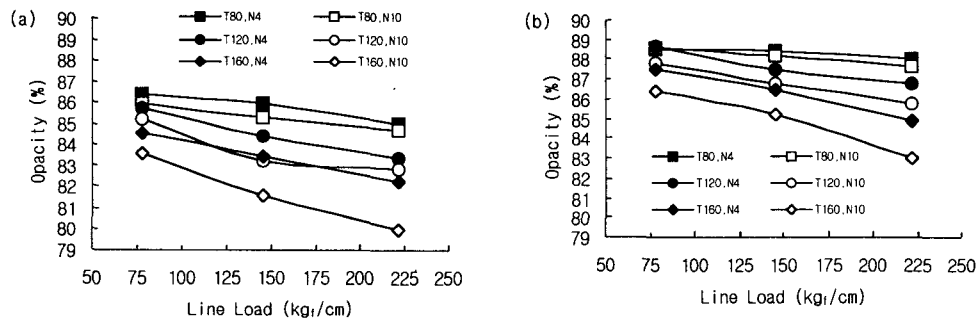
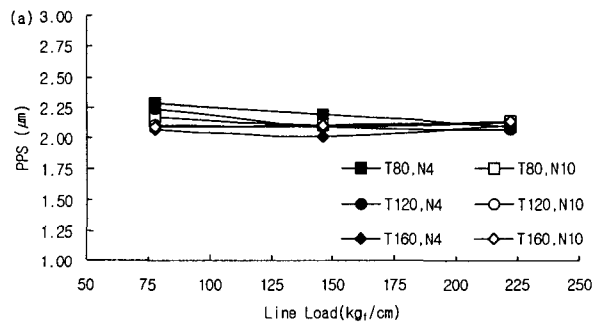


Fig. 8. Effect of line load on opacity of newsprint [(a)Moisture content 12%, Basis weight 46 g/m², (b)Moisture content 12%, Basis weight 54g/m², T : Heated roll surface temperature (℃), N : Nip residence time (ms)].

3.2.3. 평활도의 변화

PPS 평활도는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 본 연구에 적용된 캘린더링 조건에서는 거의 일정한 값을 나타내었다. 이는 열전달이 충분히 이루어졌기 때문이라 믿어진다. 원지의 평활도는 평량 46 g/m²에서 3.57 μm, 평량 54g/m²에서 3.80 μm인것을 고려하면 전 조건에서 상당히 평활도가 개선되었음을 알 수 있다.



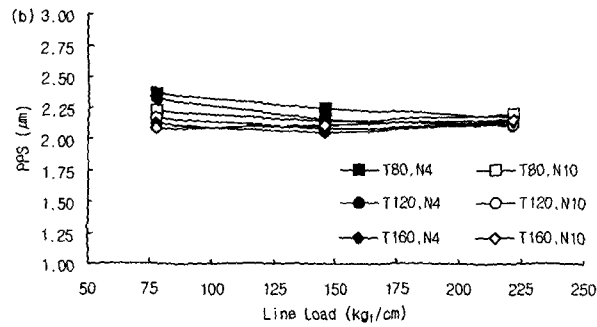


Fig. 9. Effect of line load on PPS of newsprint [(a)Basis weight 46 g/m², Moisture content 9%, (b)Basis weight 54 g/m², Moisture content 9%, T : Heated roll temperature (°C), N : Nip residence time (ms)].

3.2.4 광택도의 변화

광택도는 압력과 온도의 증가에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 10). 종이의 표면에서 광택도가 발현되는 기작으로 열침투에 의한 열변형, 님 내에서의 마찰에 의한 표면 변형, 님 내에서의 복제 현상 등을 들 수 있다⁶⁾.

캘린더링시 압력이 증가하게 되면 캘린더 구동시 소프트 님에서 소프트 커버 물질의 탄성 변형이 커지게 되고 그만큼 마찰력도 증가하게 된다. 또 매끄러운 메탈롤의 표면이 종이의 표면을 누르게 되는 힘도 커지게 되어 종이 표면으로의 복제현상이 일어날 가능성도 커지게 된다. 또 온도가 증가하게 되면 그만큼 종이 표면으로 열전달량이 커지게 되어 외부의 압력에 쉽게 변형될 수 있는 상태가 된다^{4,5)}.

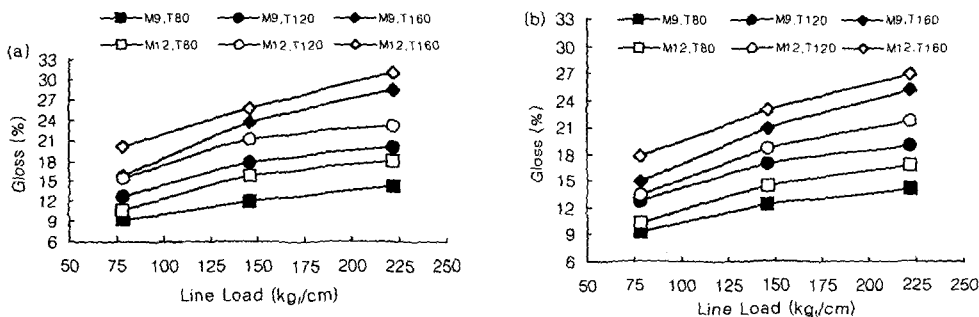


Fig. 10. Effect of pressure on gloss of newsprint [(a)Basis weight 46 g/m², Nip residence time 4 ms, (b)Basis weight 54 g/m², Nip residence time 7ms, M : Moisture content (%), T : Heated roll temperature (°C)].

4. 결 론

소프트 닙 캘린더의 닙 내의 CD 및 MD 압력 프로파일을 평가하기 위해 프리스케일 필름을 이용하여 닙의 폭과 면압을 측정하고 이를 압력환산식에 적용하여 해석하였으며, 이를 바탕으로 압력과 온도 증가에 따라 닙 내의 정확한 압력분포를 구할 수 있는 방안을 제시하였다. 또 신문용지의 소프트 닙 캘린더링 시 온도를 160℃의 고온으로 적용하고 선압과 닙 체류 시간을 각각 78 kg/cm과 4 ms로 적용하였을 때 광택도와 평활도가 높고 벌크와 불투명도의 감소를 최소화할 수 있었다.

5. 인용문헌

1. 광성고무를, 제지용 소프트 닙 캘린더 개발 및 적용성 평가 (1999).
2. Huu Luong, C. and Lindem, P.E., Measurement of the Pressure Distribution in a Soft Calender Nip, Nordic Pulp and Paper Research Journal Vol. 12 no. 3, pp. 207-210 (1997).
3. Lyons, A.V. and Thuren, A.R. Scale-Up Procedure for Relating Pilot Calendering to Commercial Reality, TAPPI Finishing and Converting Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 5 (1990).
4. Vreeland, H., Ellis, R., and Jewett, B., Substrata Thermal Molding(1), Tappi J., 72(11), pp. 139-145 (1989).
5. Vreeland, H., Ellis, R., and Kenneth, B. Jewett, Substrata Thermal Molding(2), Tappi J., 72(12), pp. 201-206 (1989).
6. Pfeiffer, J.D., Shear Stress and Replication in Calendering, TAPPI Finishing and Converting Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 29 (1992).